

ИСТОЧНИК ИОНОВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ИОННО-СТИМУЛИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ АРГО-2

Ю.А. Марченко, Н.В. Перун, И.В. Сасса, А.Ф. Ванжа

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина*

E-mail: van_@kipt.kharkov.ua,

факс +38(057)335-37-95, тел. +38(057)335-62-09

Описаны конструкция и особенности плазменного разряда источника ионов с подогреваемым катодом, предназначенного для использования на технологической установке ионно-стимулированного осаждения покрытий АРГО-2. Приведены зависимости тока пучка от параметров разряда.

1. ВВЕДЕНИЕ

Ионный источник является определяющей частью оборудования ионно-стимулированного осаждения (ИСО) покрытий, от работы которого зависят надёжность и основные характеристики установки в целом. В оборудовании ИСО покрытий в основном нашли применение плазменные источники ионов. Разработка новых материалов, улучшение характеристик покрытий таких, как твёрдость, адгезия, коррозионная стойкость и др., повлекли за собой повышение требований к источнику ионов и, прежде всего, к долговечности, интенсивности созданных пучков, разнообразию рабочих веществ и ионов, стабильности генерируемого пучка, снижению металло- и энергоёмкости [1].

Основываясь на длительном опыте эксплуатации источника ионов установки ИСО покрытий АРГО-1, можно сформулировать требования к ионным источникам. Это, прежде всего, общетехнические требования: надёжность, длительный ресурс, малое потребление энергии по всем видам энергоносителей, простота конструкции и управления [2].

Источники, используемые в технологии ИСО покрытий должны иметь высокий коэффициент использования рабочего вещества и быть максимально простыми в обслуживании и эксплуатации. Конструктивные материалы такого источника должны работать при высоких температурах, не взаимодействуя с рабочими веществами и не внося дополнительных загрязняющих примесей в ионный пучок. Ионный источник должен давать пучок необходимой интенсивности, по возможности с заданными массой и зарядом. Из-за необходимости ослабления эффекта перезарядки ионов, вызывающего неравномерность распределения и потери пучка, газовая эффективность источника должна быть высокой. Существуют высокие требования к снижению модуляции тока пучка на выходе из источника, влияющие на нейтрализацию пространственного заряда и дальнейшую транспортировку пучка.

В установке ионно-стимулированного осаждения покрытий АРГО-1 используется ионный источник с холодным катодом пеннинговского типа. Несмотря

на простоту конструкции и длительный (до 1000 ч) ресурс работы без замены катода, такой источник имеет ряд существенных недостатков. К основным из них можно отнести: малый ток пучка 1...2 мА, невысокую плотность тока на мишени, около 10 мкА/см², а также большие пульсации в пучке, что существенно ограничивает возможность формирования покрытий необходимой толщины за приемлемые промежутки времени. [3] Источник с разрядом Пеннинга и подогреваемым катодом, который в значительной степени лишен этих недостатков и отвечает всем основным требованиям, разработан и используется на установке ИСО покрытий АРГО-2. Основными достоинствами источника этого типа являются возможность получения больших токов пучка (30 мА), стабильность разряда и высокая однородность и плотность тока на мишени (150 мкА/см²).

Конструкция такого источника и особенности плазменного разряда приведены ниже.

2. КОНСТРУКЦИЯ ИОННОГО ИСТОЧНИКА

В установке ИСО покрытий АРГО-2 используется ионный источник с разрядом Пеннинга и подогреваемым катодом. В этом источнике электроны эмитируются подогреваемым катодом с высокоэмиссионным покрытием LaV₆ и, осциллируя между катодом и отражателем, производят ионизацию рабочего вещества. При этом концентрация заряженных частиц зависит от мощности, вводимой в разряд, и напряжённости магнитного поля. С повышением мощности возрастает количество быстрых электронов, способных при многократных столкновениях создавать высокую концентрацию ионов. Повышение напряжённости магнитного поля способствует лучшей изоляции плазмы от стенок разрядной камеры и уменьшению потерь из-за рекомбинации на них.

Конструкция разрядной камеры ионного источника, использующегося в установке ИСО покрытий АРГО-2, приведена на рис. 1.

Разрядная камера состоит из катода 1, антикатода 4 с отверстием для экстракции ионов с молибденовой вставкой 6 и цилиндрического охлаждаемого анода 2, изготовленного из

нержавеющей стали. Анод изолирован от корпуса полиуретановым кольцом. Катод крепится к охлаждаемому изолятору 8, который вместе с корпусом разрядной камеры и соленоидом 3 составляет магнитную систему источника, создающую аксиальное магнитное поле, направленное вдоль оси анода. Между катодом и антикатодом с одной стороны и цилиндрическим анодом с другой приложена разность потенциалов U_p , создающая электрическое поле как с аксиальной, так и с радиальной компонентами напряжённости.

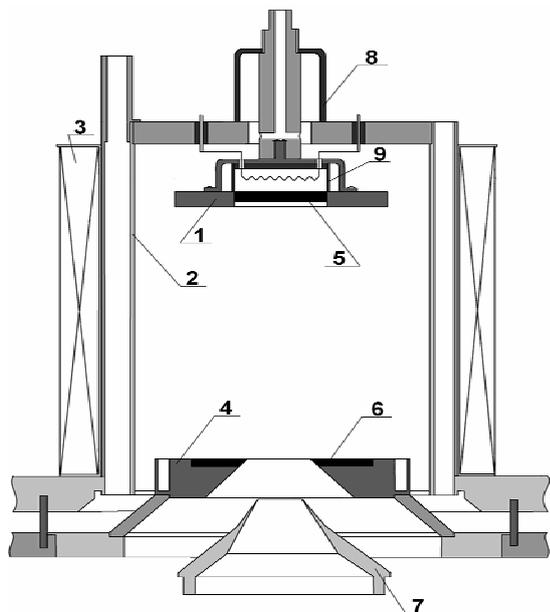


Рис. 1. Конструкция разрядной камеры ионного источника установки ИСО покрытий АРГО-2

Катодный узел 1 представляет собой герметичный объем 9, находящийся под давлением не выше $2 \cdot 10^{-5}$ Па, в котором размещён эмиссионный нагреватель (вольфрамовая спираль), а одна из стенок служит катодом с высокоэмиссионным покрытием LaB_6 , обращённым к разрядной камере ионного источника (рис. 2).

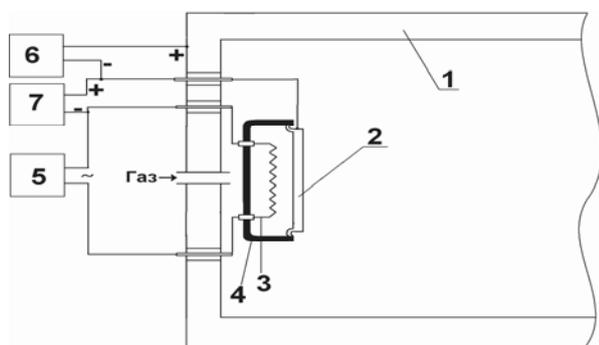


Рис. 2. Структурная схема катодного узла:

1 - корпус разрядной камеры; 2 - катод;
3 - эмиссионный нагреватель; 4 - изолятор; 5 - блок питания накала эмиссионного нагревателя; 6 - блок питания разряда; 7 - блок питания эмиссии

Эмиссионный нагреватель расположен на расстоянии нескольких миллиметров от катода, что позволяет поддерживать необходимую температуру

катода при сравнительно низких напряжениях эмиссии и мощности нагревателя. Канал подачи рабочего газа в источник расположен в держателе катода 8. При такой конструкции разрядного узла, ввиду того, что эмиссионный нагреватель находится в изолированном объеме с давлением не выше $2 \cdot 10^{-5}$ Па, становится возможным существенно расширить перечень используемых рабочих газов, включая активные, полностью предотвратить электрические пробой между эмиссионным нагревателем и катодом, существенно понизить мощность нагревателя [4].

Корпус разрядной камеры, изолятор катода и сам катод охлаждаются дистиллированной водой.

3. ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННОГО РАЗРЯДА ИОННОГО ИСТОЧНИКА УСТАНОВКИ ИСО ПОКРЫТИЙ АРГО-2

В источнике с разрядом Пеннинга и подогреваемым катодом основной метод образования среды с высокой степенью ионизации, из которой могут быть извлечены положительные ионы, заключается в создании газового разряда с помощью ускоренных электронов, эмитированных подогреваемым катодом, а также “медленных” плазменных электронов, обладающих энергией, превышающей энергию ионизации атомов рабочего вещества. Разряд с подогреваемым катодом удобен для технологии ИСО покрытий тем, что позволяет ионизировать практически любые вещества и автоматизировать управление и стабилизацию отдельных его параметров, что необходимо в процессе ионно-стимулированного осаждения покрытий. В источнике установки ИСО покрытий АРГО-2 эмиссионный нагреватель, размещённый в герметичном объеме, эмитирует вдоль силовых линий магнитного поля электроны, которые подогревают катод до температуры эмиссии; энергия этих электронов регулируется стабилизированным источником питания в пределах 100...600 эВ.

Катодный узел работает следующим образом. После подачи рабочего газа в разрядную камеру включается источник переменного напряжения 5 эмиссионного нагревателя 3 для разогрева нити накала до температуры эмиссии. Для предотвращения резких бросков тока через холодную нить полное напряжение подаётся с задержкой. После прогрева нити накала до температуры эмиссии с помощью стабилизированного регулируемого источника питания 7 подаётся напряжение ускоряющего поля между эмиссионным нагревателем 3 и катодом 2. При этом ускоренные электроны бомбардируют катод и разогревают его до необходимой температуры электронной эмиссии. С помощью стабилизированного регулируемого источника питания 6 создаётся электрическое поле, ускоряющее электроны, эмитируемые с покрытия LaB_6 на поверхности катода. Эти ускоренные электроны ионизируют рабочий газ и обеспечивают высокую степень ионизации, а следовательно, и плотность разрядного тока.

Покрытие LaV₆ даёт возможность получать такую плотность тока эмиссии электронов, которая уже при температуре катода 1200 К обеспечивает высокую степень ионизации рабочего газа и плотности разрядного тока. Так как эмиссионный нагреватель находится в изолированном объёме при давлении не выше $2 \cdot 10^{-5}$ Па, а также на малом расстоянии от катода, то это даёт возможность поддерживать необходимую температуру эмиссии катода при достаточно низких напряжениях и мощности (P=60 Вт) на протяжении достаточно долгого времени, обеспечить высокую стойкость к электрическим пробоям, а также применять в качестве рабочего вещества в разрядной камере различные газы, включая активные, которые не влияют на продолжительность работы нити накала.

Основные характеристики катодного узла показаны на рис. 3 и 4.

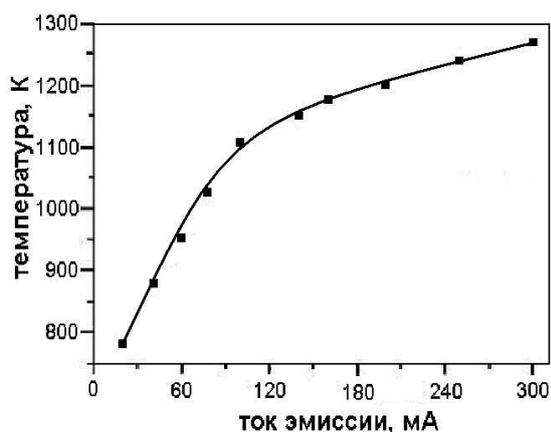


Рис. 3. Зависимость температуры катода от тока эмиссии нагревателя

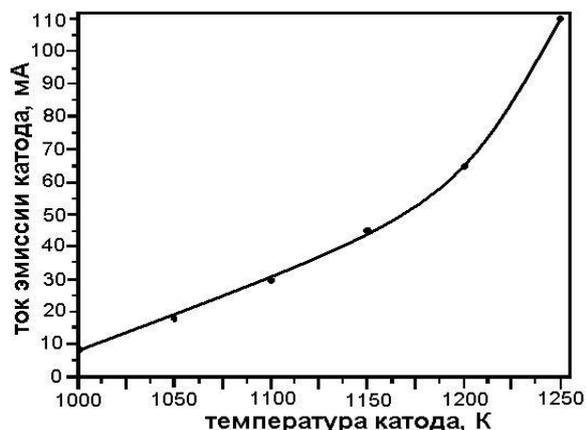


Рис. 4. Зависимость тока эмиссии катода от температуры катода

Как можно видеть из рис. 3, уже при токе эмиссии 200 мА с нити накала температура катода с покрытием LaV₆ достигает 1200 К (напряжение между эмиссионным нагревателем и катодом при этом составляет 300 В). Этой температуры вполне достаточно для обеспечения высокой плотности эмиссионного тока электронов из катода в область разрядной камеры. При температуре катода около

1200 К из слоя LaV₆ на поверхности катода эмиссионный ток электронов составляет 70 мА и резко возрастает при дальнейшем увеличении температуры (см. рис. 4).

Такой вид разряда позволяет независимо регулировать ток и напряжение на разряде. При работе системы регулирования тока разряда, воздействующей на эмиссионный нагреватель и стабилизирующей ток разряда при изменениях давления пара или напряжения питания, автоматически поддерживается постоянная температура эмитирующей поверхности катода.

Зависимость выходного тока пучка от параметров разряда приведена на рис. 5.

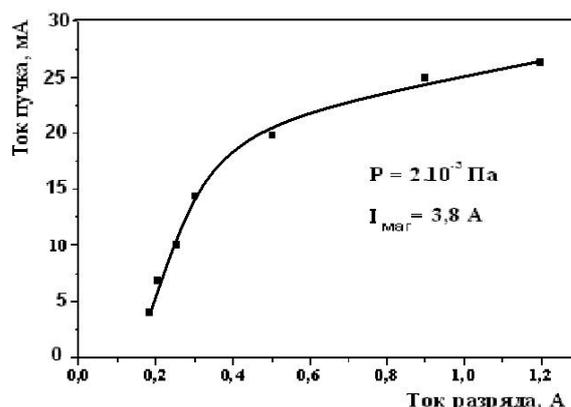


Рис. 5. Зависимость тока пучка от тока разряда

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящей работы показывают, что использование ионного источника с разрядом Пеннинга и подогреваемым катодом в технологии ионно-стимулированного осаждения покрытий с предложенной конструкцией катодного узла дало возможность существенно расширить перечень элементов, использующихся в качестве рабочего вещества, повысить газовую эффективность, стабилизировать параметры разряда. Ионный источник такого типа способен генерировать мощные пучки и обеспечивать их высокую плотность и однородность, что позволяет осаждать пленки с заданными свойствами, а также существенно сократить время нанесения покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Ensinger // *Review Science Instruments*. 1992, v. 63(11), p. 5217.
2. М. Габович // *Физика и техника плазменных источников ионов*. 1972, с. 35.
3. А.Г. Гугля, Ю.А. Марченко, Н.В. Перун, И.В. Сасса, И.В. Лопатин, А.С. Тищенко. Технологическая установка ионно-стимулированного осаждения покрытий АРГО- 2 // *Приборы и техника эксперимента*. 2007, с. 137-139.
4. Патент № 25891 UA. Катодный узел ионного источника Пеннинговского типа / Ю.А. Марченко, Н.В. Перун. 2007.

Статья поступила в редакцию 07.12.2009 г.

ДЖЕРЕЛО ІОНІВ ДЛЯ УСТАНОВКИ ІОННО-СТИМУЛЮЮЧОГО ОСАДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ АРГО-2

Ю.О. Марченко, М.В. Перун, І.В. Сасса, О.Ф. Ванжа

Описано конструкція та особливості плазмового розряду джерела іонів з катодом, що підігрівається, який призначено для використання на технологічній установці іонно-стимулюючого осадження покриттів АРГО-2. Приведені залежності струму пучка від параметрів розряду.

IONS SOURCE FOR PLAN ARGO-2 FOR THE ION-STIMULATED DEPOSITION OF COATINGS

Yu.A. Marcyenko, N.V. Perun, I.V. Sassa, A.F. Vanzha

Construction and structural features of plasma discharge of ions source with heated cathode is described. This source intended is used in technological plant ARGO-2 for the ion-stimulated deposition of coatings. Dependences of beam current on the discharge parameters are presented.